KEY FACTORS TO THE AIRCRAFT ASSESSMENT AND FLEET PLANNING: A MULTICRITERIA APPROACH

Marco Antônio Silva
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
marcothe@gmail.com, Cel. 55 (11) 9.8122-2381

Rogéria de Arantes Gomes Eller
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
rogeria@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-5883

Claudio Jorge Pinto Alves
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
claudioj@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-6818

Mauro Caetano
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
caetano@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-6818

ABSTRACT

The identification of aircraft evaluation criteria is crucial to fleet planning. In this sense, the research objective was to identify the key factors for the aircraft assessment. For this purpose were conducted literature review and documentary research providing analytical material. Based on this material, experts suggested that price, range, MTOW, seats and cargo capacity are key factors. Thus, a decision making model grounded on Analytic Hierarchy Process (AHP) was built to carry out an applied research. The hierarchical result derived from the analysis of three medium jets models showed the Embraer 195, the SSJ 100 and the CRJ 900 respectively.

Keywords: Airlines, Aircraft Evaluation, Fleet Planning, Decision Making Process, Analytic Hierarchy Process (AHP).

FATORES CHAVE À AVALIAÇÃO DE AERONAVES PARA A COMPOSIÇÃO DE FROTA AÉREA: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Marco Antônio Silva
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
marcothe@gmail.com, Cel. 55 (11) 9.8122-2381

Rogéria de Arantes Gomes Eller
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
rogeria@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-5883

Claudio Jorge Pinto Alves
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
claudioj@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-6818

Mauro Caetano
Aeronautics Institute of Technology, Brazil,
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-900, São José dos Campos/SP,
caetano@ita.br, Tel. 55 (12) 3947-6818

RESUMO

A identificação dos critérios à avaliação de aeronaves é crucial ao planejamento de frota. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi identificar os fatores chave à avaliação de aeronaves. Foram conduzidas pesquisas bibliográfica, documental e aplicada. As pesquisas bibliográfica e documental forneceram material analítico à pesquisa aplicada. Especialistas sugeriram preço, alcance, MTOW, capacidade de carga e assentos como fatores chave e construiu-se um modelo de apoio à decisão com base no *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O resultado hierarquizado entre três modelos de jatos projetados para a aviação regional foi o Embraer 195, o SSJ 100 e o CRJ 900 respectivamente.

Palavras-chave: Indústria aérea, avaliação de aeronaves, planejamento de frota, tomada de decisão, Analytic Hierarchy Process (AHP).

1. INTRODUÇÃO

A compra ou o leasing de aeronaves demanda significativos investimentos, tornando necessária a avaliação e seleção de aeronaves que, aliada aos aspectos técnicos e operacionais, possam proporcionar o melhor equilíbrio entre oferta e demanda na gestão empresarial. Dessa forma, o planejamento de frota aérea se caracteriza como um processo estratégico para as companhias com múltiplos critérios. Nesse sentido, se faz necessária a identificação dos atributos preponderantes para tal planejamento.

A literatura tem apontado que o processo de avaliação de aeronaves tem sido cada vez mais abordado por múltiplos atributos, não somente em função de suas características tradicionais, mas também de outros fatores que vêm se tornando relevantes para a indústria de transportes aéreos (BRUNO; ESPOSITO; GENOVESE, 2015). Tais aspectos têm sido consequência de um mercado cada vez mais competitivo e complexo. No contexto brasileiro, encontram-se alguns estudos considerando múltiplos critérios aplicados a indústria aeroespacial (LIMA; DAMIANI, 2010; SALGADO; BELDERRAIN; PALMÉRIO, 2010; FERREIRA FILHO; SALOMON, 2010). No entanto, pesquisas que abordem a identificação dos fatores para a avaliação e a composição de frota aérea ainda são imprescindíveis.

Sendo assim, o objetivo desse estudo consiste em identificar os fatores chave à aquisição e a composição de frota aérea. Ademais, como objetivo secundário, tratou-se a questão da avaliação de aeronaves por meio de uma abordagem multicritério utilizando-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Tal método tem sido utilizado em diversas áreas (ZEYDAN; COLPAN; COBANOGLU, 2011; LI; LIU; CHEN, 2012; CALABRESE; COSTA; MENICHINI, 2013) como um sistema de apoio a tomada de decisão para a alocação de recursos, previsões e um processo de seleção de entre alternativas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Dada à competitividade da indústria de transportes aéreos, o planejamento da frota pelas companhias tornou-se um processo cada vez mais complexo que envolve múltiplos fatores (DOZIC; KALIC, 2015). A partir da segunda metade do século XX, as grandes fabricantes de aeronaves e as principais empresas aéreas internacionais têm desenvolvido abordagens específicas para a avaliação e a tomada de decisão relativa à aquisição de aeronaves. Essas abordagens, no entanto, têm sido fundamentadas principalmente nos custos operacionais diretos e na análise do valor presente líquido (BRUNO; ESPOSITO; GENOVESE, 2015).

A fim de lançar uma nova luz sobre essa questão, Gibson e Morrell (2004), por exemplo, utilizaram a Simulação de Monte Carlo e a Análise de Opções Reais para a avaliação de aeronaves. Embora essas abordagens superem a análise baseada simplesmente nos custos operacionais e no valor presente líquido, elas, ainda assim, foram embasadas sob uma perspectiva exclusivamente financeira.

Reconhecendo a crescente complexidade desses processos, pesquisadores têm desenvolvido estudos com multiatributos (SEE *et al*, 2004; YEH; CHANG, 2009; GOMES; MATTOS FERNANDES; MELLO, 2012; DOZIC; KALIC, 2014). Nesses estudos, além das variáveis financeiras, foram considerados outros critérios como velocidade, alcance, capacidade de carga ou de passageiros, qualidade dos serviços e impactos ambientais. Não obstante, a literatura acadêmica apresente algumas pesquisas sobre o tema, ainda é premente a necessidade de novos estudos relacionados à avaliação de aeronaves sob uma perspectiva mais ampla (BRUNO; ESPOSITO; GENOVESE, 2015).

Nessa linha, See *et al* (2004) apresentam uma abordagem sob uma perspectiva mais ampla. Os autores se valeram de atributos técnicos como velocidade, alcance e o número de passageiros. Apesar de ter sido um avanço ao tratarem o problema por meio de uma análise com novos critérios, no entanto, alguns atributos como custos, qualidade e questões relativas aos impactos ambientais

não foram considerados. Ademais, a formulação matemática do método proposto tornou-se de difícil interpretação com o aumento de novas alternativas ou de novos atributos.

Também na mesma vertente, Yeh e Chang (2009) contemplam três critérios: avanços tecnológicos, responsabilidade social e eficiência econômica os quais foram articulados com mais onze subcritérios. Para cada critério o desempenho de cada aeronave foi avaliado. Utilizando uma comparação par a par, os autores avaliam os pesos entre os critérios e entre os subcritérios dentro de cada critério. Os pesos são traduzidos em uma classificação, refletindo um valor geral para cada tipo de aeronave. O algoritmo proposto, no entanto, também apresenta certa complexidade, uma vez que os indicadores de desempenho geral apresentam-se altamente correlacionados com os resultados do algoritmo proposto.

Gomes, Mattos Fernandes e Mello (2012) apresentam uma abordagem em que o processo de avaliação baseia-se em três critérios; Financeiro, Logístico e Qualidade. Esses aspectos são articulados em doze subcritérios (custo de aquisição, liquidez, custos operacionais, alcance, flexibilidade, velocidade de cruzeiro, disponibilidade de peças de reposição, distância de decolagem e de aterrissagem, conforto, aviônicos disponibilidade e segurança). O resultado consiste em um conjunto de alternativas decorrente de um procedimento de classificação superior adaptado a partir do método PROMÉTHÉE. O método mostra-se relativamente simples, porém, em aplicações práticas, os cálculos matemáticos tornaram-se complexos e a análise das alternativas de difícil avaliação.

Já Dozic e Kalic (2014) apresentam uma abordagem com base em uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. A proposta consiste em dimensionar uma frota aérea com base na demanda por viagens. Os atributos tratados relacionam demanda e capacidade para passageiros, investimento necessário para a compra da aeronave, condições de pagamento, capacidade de carga, peso máximo de decolagem e custo total por assento disponível por milhas. Várias classificações foram obtidas por meio de uma avaliação emparelhada tanto dos critérios quanto das opções apresentadas. Na sequência os autores realizam uma análise de sensibilidade, alterando cada elemento da matriz de comparação, mantendo os demais constantes. Desse modo, pode-se monitorar o processo e identificar possibilidades e alternativas.

Posto isto, verifica-se dessa forma, que a literatura tem apontado que o processo de avaliação de aeronaves tem sido cada vez mais abordado por múltiplos atributos não somente em função de suas características tradicionais mais também de outros fatores que também vêm se tornando relevantes para a indústria de transportes aéreos (BRUNO; ESPOSITO; GENOVESE, 2015). No contexto brasileiro encontram-se alguns trabalhos considerando múltiplos critérios aplicados a indústria aeroespacial (LIMA; DAMIANI, 2010; SALGADO; BELDERRAIN; PALMÉRIO, 2010; FERREIRA FILHO; SALOMON, 2010). No entanto, pesquisas que abordem a identificação dos fatores para a avaliação e a composição de frota aérea ainda são imprescindíveis.

3. METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos de pesquisa apresentados foram realizadas pesquisas exploratória, bibliográfica, documental e aplicada. A pesquisa exploratória destina-se a sondagem de um tema para o esclarecimento de ideias com o propósito de fornecer uma visão mais ampla sobre o objeto de estudo ou a formulação de hipóteses a novos estudos (GONSALVES, 2012). Nesse sentido, esta pesquisa se caracterizou como exploratória por tentar identificar os fatores e critérios, ou possíveis atributos, para a avaliação e aquisição de aeronaves com base no atual estado da arte da literatura científica e novos avanços.

A pesquisa bibliográfica compreendeu o estudo sistematizado sobre o tema em artigos científicos e na literatura especializada. Conforme esclarece Vergara (2016), a pesquisa bibliográfica fornece o instrumental analítico para outras pesquisas além de um primeiro contato com o tema de estudo. Ademais, conduziu-se uma pesquisa documental, pois foram examinados documentos disponibilizados pelos fabricantes (Embraer, *Bombardier e Sukhoi Corporation*) no que se referem aos atributos das respectivas aeronaves em avaliação. A pesquisa documental tem

por fim o levantamento de dados já coletados e tratados por outras pessoas ou entidades específicas para posterior análise (MARCONI; LAKATOS, 2010).

A motivação para a realização de uma pesquisa aplicada decorreu do objetivo específico de abordar um problema concreto, ou seja, a avaliação de aeronaves para a composição de frotas aéreas. Ao contrário da pesquisa pura, a qual visa criar conhecimento para contribuir com o corpo teórico de uma determinada área, a pesquisa aplicada se utiliza da teoria articulada a um problema prático a fim de verificar a sua funcionalidade (FELLOWS; LIU, 2008).

Para a consecução da pesquisa aplicada foi conduzido o Processo de Análise Hierárquica ou *Analytic Hierarhy Process* (AHP) desenvolvido por Saaty (1980) como um método de tomada de decisão multicritério. Tal método é utilizado para melhor fundamentar o processo de tomada de decisão em ambientes complexos. No presente estudo foram realizadas as seguintes etapas, de acordo com as diretrizes para a aplicação do AHP.

- **Passo 1**: Identificação dos fatores relevantes para a definição das características do modelo, dos critérios, dos subcritérios e das alternativas possíveis;
- **Passo 2**: Uma vez identificados os fatores relevantes na literatura foi conduzido uma entrevista com especialistas do setor aéreo para a ponderação dos critérios, dos subcritérios e das alternativas possíveis.
- **Passo 3**: Construção da estrutura para o processo de análise hierárquica. Após a definição dessa estrutura, uma comparação par a par da importância relativa entre os critérios estabelecidos foi conduzida para cada nível hierárquico da matriz **A** baseada no julgamento do decisor $\mathbf{a_{ij}}$.

$$A = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Sendo $\mathbf{a_{ij} = 1/a_{ji}}$; i, j = 1,2, ..., n

- **Passo 4**: Determinação dos pesos para expressar a importância dos elementos de um determinado nível na matriz hierárquica sobre aqueles de um nível inferior pelo processo de comparação par a par entre os critérios e os subcritérios. Os critérios são comparados segundo a escala de julgamentos (SAATY, 1990) descrita no Quadro 1.

Quadro 1 – Escala de julgamentos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objeto.
3	Importância fraca De uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência, favorecendo uma atividade em relação à outra, é do mais alto grau de certeza.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando é necessária uma condição

	entre dois julgamentos adjacentes	compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima	Se uma atividade ***i*** tem um dos valores não zero acima quando Comparado com a atividade ***j***, então ***j*** tem um valor recíproco Quando comparado com ***i***	
Racionais	Razões resultantes da Escala	Se a consistência foi forçada para obtenção de n valores numéricos para cobrir a matriz.

Fonte: Saaty (1990)

- **Passo 5**: Verificação da consistência. A matriz de julgamento paritária foi utilizada para se obter um vetor de prioridades que corresponda aos pesos;

  $\mathbf{W} = [w_1, w_2, ..., w_n]^T$ **i = 1, 2, ..., n**

  O vetor de pesos foi calculado a partir do valor médio das filas a partir da matriz **A** de comparação par a par normalizada.

$$w_i = \frac{1}{n}\sum_j \left(\frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}\right) \quad i,j,= 1,2,\ldots,n$$

- **Passo 6**: Verificação da consistência lógica da matriz de julgamento. Para uma matriz de ordem n, o número de julgamentos necessários é n(n – 1)/2. A razão de consistência, RC, é calculada por RC = IC/IR

  Onde:
  IC = $(\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ e λ_{max} é o maior autovalor de A.
  IR é o valor médio de IC (Índice de Consistência)
  IR (Índice Randômico) foi obtido a partir da Tabela 1 para diferentes valores de **n**

Tabela 1 – Índices Randômicos

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54

Saaty (1990) propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório. A Tabela 1 de verificação da consistência limita em 15 critérios o número de itens a ser comparados em uma matriz. Saaty (1990) ainda sugere o uso da Razão de Consistência, considerando o Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra. Os valores da Razão de Consistência para que a matriz seja considerada consistente são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de RC para analisar a Consistência

Nº de critérios	**Razão de Consistência**
3	< 0,05
4	< 0,09
> 4	< 0,10

Quando a matriz obtida da comparação emparelhada entre os critérios é inconsistente se faz necessário que o avaliador revise essa comparação até que ela se torne consistente. Em seguida, determina-se o vetor prioridade.

- **Passo 7:** A matriz de comparação entre as alternativas foi então construída para cada critério, permitindo julgar o desempenho de cada alternativa comparado com os critérios considerados.
- **Passo 8:** Desse modo foi obtida assim, as prioridades globais por meio de uma soma ponderada simples, dando o escore de cada alternativa permitindo determinar a classificação final.

4. RESULTADOS

A busca e a localização da literatura científica seguidas da compilação, da análise e da interpretação dos dados possibilitou a identificação dos fatores e critérios relativos à avaliação de aeronaves para a composição de frotas. Desse modo, foi possível responder a pergunta de pesquisa e norteou a consecução do objetivo específico de tratar a tomada de decisão sobre a avaliação de aeronaves por meio de uma abordagem multicritério. Para fins de organização do estudo foi elaborado um resumo dos principais atributos identificados na revisão da literatura conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo dos estudos sobre avaliação e composição de frota aérea

Autores	Fatores e Critérios para Avaliação de Aeronaves
GIBSON e MORRELL (2004)	- Custos operacionais; - Valor presente líquido.
SEE *et al*. (2004)	- Velocidade; - Alcance; - Número de passageiros.
YEH e CHANG (2009)	- Avanços tecnológicos, - Responsabilidade social; - Eficiência econômica.
GOMES, MATTOS FERNANDES e MELLO (2012)	- Custo de aquisição, liquidez; - Custos operacionais; - Alcance; - Flexibilidade, - Velocidade de cruzeiro; - Disponibilidade de peças de reposição; - Distância de decolagem e de aterrissagem; - Conforto, aviônicos disponibilidade e segurança.
DOZIC e KALIC (2014)	- Capacidade para passageiros; - Investimento necessário para a compra da aeronave; - Condições de pagamento; - Capacidade de carga, - Peso máximo de decolagem; - Custo total por assento disponível por milhas.

Fonte: Dados da pesquisa bibliográfica

Tais fatores, critérios e/ou atributos, por sua vez, norteou a pesquisa documental. Esta foi conduzida tendo em mente a aviação regional, dado o seu potencial de crescimento em especial no Brasil (IPEA, 2010). A partir da análise dos manuais e dos catálogos de especificações técnicas de vários fabricantes foram avaliadas as seguintes aeronaves e seus atributos: os jatos CRJ 900 da *Bombardier* (Canadá), o Embraer 195 da Embraer (Brasil) e o SSJ 100 da *Sukhoi Corporation* (Rússia). A escolha dessas aeronaves se justificou pela semelhança entre elas e terem sido projetadas visando o mercado de aviação regional. Além disso, esses fabricantes são concorrentes diretos. Oriundo da análise dos documentos elaborou-se o Quadro 3 com os atributos a serem avaliados na pesquisa aplicada.

Quadro 3 – Fatores e características das aeronaves a serem considerados na tomada de decisão

Aeronaves	Preço (US$) Milhões	Nº de assentos	Peso Max. de Decolagem (ton.)	Carga útil (kg)	Alcance (Km)
CRJ 900	41	79 – 90	36,5	10.319	3.620
Embraer 195	39,5	108 – 124	52,3	13.950	4.077
SSJ 100	35	98	49,4	12.147	4.578

Fonte: dados da pesquisa documental http://www.bombardier.com; www.embraer.br; http://www.sukhoi.org

Uma vez concluídas as pesquisas bibliográfica e documental, realizou-se a modelagem estrutural do problema da pesquisa aplicada, ou seja, elaboração da hierarquia do problema conforme a Figura 1.

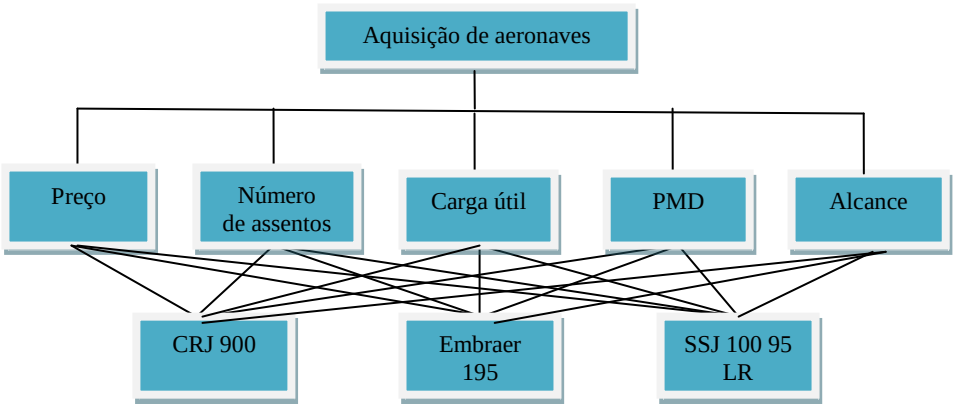


Figure 1: Hierarquia de critérios e alternativas

A matriz par a par de comparação dos critérios do primeiro nível da estrutura hierárquica do problema é mostrada na Tabela 4, seguida do vetor de prioridade. Conforme ressalta Saaty (1990) o vetor de prioridades é o autovalor da matriz, portanto, as prioridades são calculadas a partir da comparação par a par usando o método AHP.

Tabela 4 – Matriz de comparação par a par para o primeiro nível

	Preço	Nº de assentos	Carga útil	PMD	Alcance	Vetor de prioridade
Preço	1	5	5	7	3	0,468
Nº de assentos	0,20	1	0,20	6	3	0,163
Carga útil	0,33	1	1	3	3	0,193
PMD	0,20	0,50	0,33	1	3	0,108
Alcance	0,33	0,33	0,14	0,33	1	0,067

$\lambda_{máx}$ = 5,284 ***IC*** = 0,071 ***RC*** = 0,0633

A maior prioridade é dada ao preço (0,468) seguida da carga útil (0,193) e o número de assentos (0,163). A razão de consistência (*RC*) indica o nível de inconsistência aceitável (0,0633).

Já a Tabela 5 apresenta a matriz de comparação das aeronaves considerando o critério preço e os respectivos vetores de prioridades locais.

Tabela 5 – Matriz de comparação das aeronaves com relação ao preço

Preço	CRJ 900	Embraer 195	SSJ 100	Vetor de prioridade
CRJ 900	1	0,50	0,33	0,170
Embraer 195	2	1	1,0	0,387
SSJ 100	3	1	1	0,443

$\lambda_{máx}$ = 3,051 **IC** = 0,025 **RC** = 0,044

De acordo com a Tabela 5, percebe-se que a aeronave SSJ 100 tem a mais alta prioridade com relação ao preço (0,443), seguido pela aeronave da Embraer 195 (0,387).

A Tabela 6 apresenta a matriz de comparação das aeronaves com o critério de número de acentos e os respectivos vetores de prioridades locais.

Tabela 6 – Matriz de comparação em relação ao nº de assentos

Nº de assentos	CRJ 900	Embraer 190	SSJ 100	Vetor de prioridade
CRJ 900	1	0,33	0,40	0,151
Embraer 195	3	1	2	0,532
SSJ 100	2,50	0,50	1	0,317

$\lambda_{máx}$ = 3,036 **IC** = 0,018 **RC** = 0,031

Pela Tabela 6 nota-se que a aeronave Embraer 195 apresenta a mais alta prioridade com relação ao número de assentos (0,532) seguido pela aeronave da SSJ 100 (0,317).

A Tabela 7 ilustra a matriz de comparação das aeronaves com relação ao peso máximo de decolagem (PMD) e os respectivos vetores de prioridades locais.

Tabela 7 – Matriz de comparação ao peso máximo de decolagem (PMD)

PMD	CRJ 900	Embraer 190	SSJ 100	Vetor de prioridade
CRJ 900	1	0,29	0,50	0,152
Embraer 195	3,5	1	2	0,557
SSJ 100	2	0,50	1	0,291

$\lambda_{máx}$ = 3,008 **IC** = 0,004 **RC** = 0,007

Nota-se na Tabela 7 que a aeronave Embraer 195 apresenta a mais alta prioridade com relação ao PMD (0,557) seguido pela aeronave da SSJ 100 (0,291).

A Tabela 8 ilustra a matriz de comparação das aeronaves com relação à carga útil e os respectivos vetores de prioridades.

Tabela 8 – Matriz de comparação com relação a carga útil

Carga útil	CRJ 900	Embraer 190	SSJ 100	Vetor de prioridade
CRJ 900	1	0,33	0,40	0,151
Embraer 195	3	1	2	0,532
SSJ 100	2,50	0,50	1	0,317

$\lambda_{máx}$ = 3,036 **IC** = 0,018 **RC** = 0,031

Conforme a Tabela 8 percebe-se que a aeronave Embraer 195 apresenta a mais alta prioridade com relação à carga útil (0,532) seguido pela aeronave SSJ 95 (0,317).

A Tabela 9 apresenta a matriz de comparação das aeronaves com relação ao critério de alcance e seus respectivos vetores de prioridades locais.

Tabela 9 – Matriz de comparação em ao alcance

Alcance	CRJ 900	Embraer 190	SSJ 100	Vetor de prioridade
CRJ 900	1	3	3	0,148

Embraer 195	7	1	7	0,581
SSJ 100	5	0,20	1	0,271

$\lambda_{máx}$ = 3,001 ***IC*** = 0,000 ***RC*** = 0,001

De acordo com a Tabela 9 percebe-se que a aeronave Embraer 190 apresenta a mais alta prioridade (0,581) com relação ao alcance seguido pela aeronave da SSJ 100 95 (0,271).

A solução para o problema proposto neste estudo, após a condução do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), é apresentada na Tabela 10**.** A razão de consistência para a matriz representada na Tabela 4 foi menor que 0,10 e para as Tabelas de 5 a 9 foram menores do que 0,05 apresentando resultados abaixo de 10%, confirmando, assim, a validade da solução alcançada.

Tabela 10 – Medidas de prioridade local e global

	Preço	**Nº de assentos**	**Carga útil**	**PMD**	**Alcance**	**Vetor de prioridade**
CRJ 900	0,170	0,151	0,151	0,152	0,148	0,154
Embraer 195	0,387	0,532	0,532	0,557	0,581	0,517
SSJ 100 95 LR	0,443	0,317	0,317	0,291	0,271	0,327

De acordo com o procedimento aplicado, a aeronave mais adequada para a situação proposta é a aeronave Embraer 195, seguida da SSJ 100 e por último a CRJ 900.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento de frotas aéreas é um processo estratégico para uma companhia aérea. Tal relevância é refletida na tentativa de adequar a capacidade de transporte à demanda prevista, às condições mercadológicas e aos critérios técnicos e financeiros. A aquisição de aeronaves envolve a mobilização de investimentos vultosos, portanto, a seleção de aeronaves que atendam aos fatores-chave para minimizar os riscos inerentes às operações das companhias aéreas é crucial para a viabilidade do negócio e a satisfação dos passageiros.

Além de executar um planejamento de tráfego com um número mínimo possível de aeronaves, menor custo operacional e a máxima utilização possível, as companhias não podem negligenciar que os passageiros estão interessados em um alto nível de serviço com a devida qualidade. Por exemplo, voos frequentes e diretos com o mínimo de conexões, segurança e conforto. Portanto, os planejadores e gestores no processo de tomada de decisão devem buscar a melhor solução que harmonize estes interesses conflitantes.

O problema da seleção de aeronaves considerado no presente estudo é parte de uma decisão multicritério de maior complexidade. Considerando os critérios aqui selecionados (número de assentos, preço da aeronave, capacidade de carga, peso máximo de decolagem e alcance), outros aspectos para a aquisição de aeronaves podem ser contemplados, permitindo ao planejador escolher a melhor aeronave a partir de um conjunto de alternativas. Neste estudo foi mostrado que, o AHP é uma importante ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão conforme o critério definido para esta pesquisa.

Como estudo futuro é sugerido que esses resultados possam ser comparados com os resultados obtidos pela aplicação de outros métodos multicritérios de tomada de decisão para que se possa ver a sensibilidade da solução para tais tipos de mudanças. Ademais, podem ser incorporados e analisados outras variáveis pertinentes ao processo de seleção e aquisição de aeronaves.

6. REFERÊNCIAS

ABDULLAH, L.; NAJIB, L.. A new type-2 fuzzy set of linguistic variables for the fuzzy analytic hierarchy process. **Expert System with application**, v. 4, n. 11, p.3297-3305, 2014.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P.; CHAPARRO-GONZÁLEZ, F.; PASTOR-FERRANDO, J; PLA-RUBIO, A.. An AHP (Analytic Hierarchy Process/ ANP Analytic Network Process) – based multi-criteria decision approach for the selection of solar – thermal power plant investment project, **Energy**, v.66, p. 222-238, 2013.

BRUNO, G.; ESPOSITO, E.; GENOVESE, A.. A model for aircraft evaluation to support strategic decision. **Expert System with Application**, v. 42, p. 5580-5590, 2015.

CALABRESE, A.; COSTA, R.; MENICHINI, T. Usinig fuzzy AHP to manage intellectual capital assets: na application to the ICT service industry. **Expert Systems with Applications**, v.40, n.9, p.3747-3755, 2013.

CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M.; SALINE, P.. AHP – based methodology for selecting safety devices of industrial machinery. **Safety Science**, 53, p.202-218, 2013.

DALEY, B.. **Air transport and the environment**. Farnham, UK, Ashegate, 2010.

DOZIC, S.; KALIC, M.. An AHP approach to aircraft selection process. **Transportation Research Procedia**, v. 3, p. 165-174, 2014.

DOZIC, S.; KALIC, M.. Three-stage airline fleet planning model. **Journal of Air Transportation Management**, v. 46, p. 30-39, 2015.

FELLOWS, R.; LIU, A. **Research methods for construction**. Malden, MA, USA, Wiley-Blackwell, 2008

FERREIRA FILHO, A. J. C. A.; SALOMON, V. A. P.. Desenvolvimento de um modelo para medir a eficiência de empresas terceirizadas no processo de publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves. In: MARINS, F. A. S.; PEREIRA, M. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; URBINA, L. M. S.(Orgs). **Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios:** aplicações na indústria aeroespacial. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.

GIBSON, W.; MORRELL, P.. Theory and practice in aircraft financial evaluation. **Journal of Air Transportation Management**, v.10, n.6, p.427-433, 2004.

GOMES, L. F. A.; MATTOS FERNANDES, J. E.; MELLO, J. C. C.. A fuzzy stochastic approach to multicriteria selection of an aircraft for regional chartering, **Journal of Advanced Transportation**, v. 48, n.3, p.223-237, 2012.

GONSALVES, E. P. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. Campinas, SP, Alínea, 2012.

IPEA. **Comunicado do Ipea nº 54 – Maio 2010. Panorama e perspectiva para o transporte aéreo no Brasil no mundo**. Disponível em <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em: set. 2016.

LI, Y.; LIU, X.; CHEN, Y. Supplier selection using axiomatic fuzzy set and TOPSIS methodology in supply chain management. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 11, n, 2, p. 147-176, 2012.

LIMA, A. S.; DAMIANI, J. H. S.. Proposta de método para modelagem de critérios de priorização de projetos de pesquisa e desenvolvimento aeroespaciais. In: MARINS, F. A. S.; PEREIRA, M. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; URBINA, L. M. S.(Orgs). **Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios:** aplicações na indústria aeroespacial. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª ed. São Paulo : Atlas, 2010.

SAATY, T. L.. How to make decision: Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L.. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, New York, 1980.

SALGADO, M. C. V.; BELDERRAIN, M. C. N.; PALMÉRIO, A. F.. Agregação de julgamentos em decisão em grupo. Estudo de caso: avaliação da realização do segundo ensaio de voo tecnológico do veículo lançador de satélites – VLS – 1. In: MARINS, F. A. S.; PEREIRA, M. S.;

BELDERRAIN, M. C. N.; URBINA, L. M. S.(Orgs). **Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios:** aplicações na indústria aeroespacial. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.
SEE, T. K.; GURANI, A.; LEWIS, K.. Multi-attribute decision making using hypothetical equivalent and inequivalents. **Journal of Mechanical Design**, v.126, n.6, p.950-958, 2004.
VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16ª ed. – São Paulo, Atlas, 2016.
WRIGHT, J. T. C.; GIOVINZZO, R. A.. Delphi – uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisa em Administração**, v.1, n.12, p.55-65, 2º trim., 2000.
YEH, C. H.; CHANG, Y. H.. Modeling subjective evaluation for fuzzy group multicriteria decision making, **European Journal of Operational Research**, v. 194, p. 465-473, 2009.
ZEYDAN, M.; COLPAN, C.; COBANOGLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n.3, p. 2741-2751, 2011.